Vorträge.

Über Gravitation und Erhaltung der Kraft.

Von **Ernst Brücke.**

Am 27. Februar dieses Jahres hielt Faraday in der *Royal society* einen Vortrag, in welchem er nachzuweisen suchte, dass unsere gangbare Vorstellung von der allgemeinen Schwere nicht mit dem Satze von der Erhaltung der Kraft in Einklang stünde. Er definirt die Schwerkraft nach eben dieser gangbaren Vorstellung als „eine einfache anziehende Kraft ausgeübt zwischen zwei oder zwischen allen Partikeln oder Massen, in jeder merklichen *(sensible)* Entfernung, aber mit einer Energie *(strength)*, welche wechselt, umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung." Er macht hier zunächst darauf aufmerksam, dass diese Definition eine *actio in distans* voraussetze, ein Punkt, der schon Newton Schwierigkeiten bereitet habe, und über den er sich in seinem dritten Briefe an Bentley folgendermassen ausgesprochen:

„*That gravity should be innate, inherent and essential to matter, so that one body may act upon another at a distance, through a vacuum, without the mediation of any thing else, by and through wich their action and force may be conveyed from one to another, is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters a competent faculty of thinking kan ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but wether this agent be material or immaterial I have left to the consideration of my readers.*"

Weiter zeigt Faraday, dass, wenn zwei Partikeln von einander entfernt werden, ihre Anziehung zu einander abnehme. Dies heisse nichts anders, als es werde Kraft vernichtet. Wenn zwei Partikeln einander genähert würden, so nehme ihre Anziehung zu, das

heisse, es werde Kraft erzeugt. Beides sei unvereinbar mit dem höchsten Naturgesetze, mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft. Wenn wir uns ein Partikel isolirt denken und ohne Gravitationskraft und bringen dann ein zweites hinzu, so entsteht Anziehungskraft, der Annahme nach von beiden Seiten, es werde also nach der gangbaren Vorstellung wiederum Kraft erschaffen.

Ferner wenn wir uns das Theilchen *B* vom Theilchen *A* unendlich weit fortgebracht denken, so ist die Anziehungskraft unendlich vermindert, es ist als ob *B* in Rücksicht auf *A* vernichtet wäre, und die Kraft von *A* wird zu derselben Zeit auch vernichtet sein. Dasselbe Raisonnement lässt sich auf ein und auf viele Partikeln anwenden. Wenn ein Körper sich dem andern in gravitirender Bewegung nähert, so häuft er in Folge der *vis inertiae* in sich eine Quantität mechanischer Kraft an, und doch hat die *vis attractionis* nicht abgenommen durch die Annäherung sondern zugenommen. Wird aber durch die äussere mechanische Kraft der Körper in entgegengesetzter Richtung entfernt, so wird dadurch keine Kraft aufgespeichert, sondern die *vis attractionis* ist in Folge der grösseren Entfernung nur vermindert worden. Desshalb meint Faraday, seien unsere jetzigen Vorstellungen von der Ursache der Schwere nicht im Einklange mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, so lange nicht nachgewiesen wird, wo die erzeugte Kraft herkommt und die verschwundene Kraft bleibt. Er zweifelt nicht an der allgemeinen Anwendbarkeit des Satzes von der Erhaltung der Kraft, aber er glaubt, dass wir mit unserer Definition der allgemeinen Schwere nur eine Wirkungsweise dieser Kraft *(one exercise of that power)* beschreiben und dass sie eine unvollkommene Vorstellung von der Natur der Kraft im Ganzen gebe.

Seit langer Zeit ist keine physicalische Frage von solcher Tragweite allein mit Worten und ohne allen mathematischen Apparat, ohne Hilfe jener wunderbaren Symbole discutirt worden, deren lakonische Beredtsamkeit eindringlicher und überzeugender spricht als die Zungen von Cicero und von Demosthenes. Wenn aber der erste Physiker der Welt, wenn Michael Faraday die Discussion beginnt und so beginnt, so ist dies gewiss ein Zeichen, dass es auch an der Zeit sei, sie so zu führen.

Wenn ich es wage, mich an derselben zu betheiligen, so geschieht es nicht weil ich mich jenem grossen Manne auf seinem

Felde gewachsen fühlte, sondern weil mein Fach, die Physiologie, mich vielleicht in Stand setzt auf dies oder jenes aufmerksam zu machen, was dem Gedankengange des englischen Physikers ferner lag. Stets darauf hingewiesen, die Augen dem inneren Menschen zuzuwenden, vermag ich vielleicht auf einzelne Punkte des Zusammenhanges zwischen unseren Anschauungen und den natürlichen Dingen selbst hinzuweisen, welche uns das Verhältniss des Gravitationsgesetzes zu dem von der Erhaltung der Kraft in einem andern Lichte erscheinen lässt.

Was ist es was man in der Physik mit dem Namen einer Kraft bezeichnet? Wir Menschen stehen der Aussenwelt gegenüber wie eine *Camera obscura*, auf deren Grund sie ihre stets wechselnden Lichtbilder wirft; wir können diese Bilder an und für sich nicht begreifen, noch die Gegenstände von denen sie herrühren, aber wir sehen, dass unter denselben Umständen wiederum dieselben Bilder erscheinen und diese Gesetzmässigkeit ihres Erscheinens erlaubt uns dasselbe voraus zu bestimmen; wir entwerfen zu diesem Zwecke in sprachlichen oder mathematischen Symbolen Formeln, und nennen die Principien, aus welchen sich dieselben herleiten lassen, Naturgesetze.

Wir haben fortwährend Bewegungen vor uns, theils in Form von Massenbewegungen, theils in Form von Bewegung kleinster Theile gegen einander, in Form von Wärme, oder wenn die Strahlen dieser Wärme unsere Sehnerven erregen, in Form von Licht. Wir haben die Umstände, unter denen diese Bewegungen wechseln und einander folgen, derartig studirt, dass wir ihre Erscheinungsweise, ihre Intensität, ihre Richtung im voraus bestimmen können, und wir haben gefunden, dass die hiezu dienenden Formeln die einfachste Gestalt annehmen, wenn wir den einzelnen Theilen der Materie Attribute beilegen, welche wir Kräfte nennen und deren Grösse wir von Masse und Entfernung der Theile abhängig machen. Niemand kann beweisen, dass diese Attribute eine reelle Existenz haben im engeren Sinne des Wortes, dass sie an den Dingen selbst und ausserhalb der menschlichen Gedankenwelt existiren. Wir kennen aus der sinnlichen Erfahrung keine anderen reellen Ursachen der Bewegungen als wieder andere Bewegungen und so fort, bis die Glieder der Kette unseren Blicken entschwinden; aber wir helfen unserer Rathlosigkeit ab dadurch, dass wir gedachte Ursachen hinstellen,

die wir Kräfte nennen, und mit denen wir, und zwar wie die Erfahrung lehrt mit gutem Erfolge, schalten, als ob sie die reellen Ursachen der Bewegungen wären: sie existiren thatsächlich in unserer Gedankenwelt und haben dort ihre volle Berechtigung, ob sie auch existiren würden, wenn es nie ein denkendes Wesen gegeben hätte, das ist eine Frage, die der Mensch nicht entscheiden kann, weil es eben ausserhalb seiner Gedankenwelt keine Erkenntniss für ihn gibt. Alle Naturforschung läuft darauf hinaus, das unmittelbar sinnlich Wahrnehmbare zu erfassen, sich dasjenige, welches der unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung durch seine räumlichen oder zeitlichen Dimensionen entzogen ist, durch Instrumente, durch Versuche und durch Induction aufzuschliessen, und endlich unter sämmtlichen Erscheinungen einen Zusammenhang herzustellen, der mit unseren Denkgesetzen im Einklange ist. Von diesem Standpunkte aus und nur von diesem glaube ich Newton's Zweifel über die in die Ferne wirkende Anziehungskraft betrachten zu dürfen. Er hat durch die That gezeigt, wie sehr er die Nothwendigkeit einsah, sein Gesetz so zu formuliren, wie er es gethan hat, denn nur so konnte es als der unmittelbare Ausdruck der Thatsachen erscheinen; aber er ging weiter, er wollte sich die von ihm logisch abstrahirten Kräfte vorstellen und hier stiess er auf Schwierigkeiten. Wir stellen uns mit vollkommener Deutlichkeit Dinge und Bewegungen vor, auch wenn sie vermöge ihrer Dimensionen oder aus anderen Gründen unserer Sinneswelt entrückt sind; denn für die Vorstellungen von Dingen und von Bewegungen ist das Material stets in dem Schatze unserer Sinnenwelt vorhanden und es bedarf nur des construirenden Verstandes, um die Vorstellung selbst zu entwerfen und aufzubauen. Wir stellen uns die Bewegung der Lufttheilchen im Schall, die Bewegung der Äthertheilchen im Lichte vor ohne wesentliche Schwierigkeiten, das Material ist dafür vorhanden, wir kennen Massen, grosse und kleine, wir kennen ihre Bewegungen, wir brauchen in unserem Geiste nur die letzteren in die entsprechende Form zu bringen und von den räumlichen und zeitlichen Dimensionen zu abstrahiren, so ist alles in Ordnung. Anders verhält es sich mit den Kräften. Die Kräfte kennen wir nur als Abstractionen unseres Geistes, als Abstractionen aus den Veränderungen, welche unser Ich fortwährend durch die Aussenwelt erleidet, und wir besitzen desshalb kein sinnliches Material, um sie vorzustellen. Alle Versuche die wir in dieser Richtung machen, laufen

darauf hinaus, dass wir auf ziemlich plumpe Weise den Kräften Dinge substituiren, die von ihnen völlig verschieden sind, Gewichte welche ziehen, Springfedern welche drängen, weil sie im speciellen Falle ähnliche Wirkungen wie die gedachten Kräfte ausüben würden, oder Linien, weil sie durch ihre gegenseitigen Grössen- und Richtungsverhältnisse die analogen Verhältnisse der Kräfte zu veranschaulichen geeignet sind. Desshalb, weil wir Kräfte überhaupt nicht vorstellen können, konnte sich auch Newton keine Vorstellung machen von einer anziehenden Kraft, die den Körpern inhärirt und durch das Vacuum hindurch auf andere Körper wirkt, und er, dessen Blicken der Himmel durchdringlicher war als das eigene Selbst, verwechselte diese Unmöglichkeit des Vorgestelltwerdens mit der Absurdität. Nichts ist weiter entfernt von der Absurdität als die *in distans* wirkende Anziehung. Bei unseren naturwissenschaftlichen Abstractionen heisst es mehr als irgendwo „an ihren Früchten sollt ihr sie erkennen" und, wie Faraday selbst sagt, hat sich Newton's Gesetz bewahrheitet *to an extent, that could hardly have been within the conception even of Newton himself when he gave utterance to the law.*

Es hat sich so bewährt, ohne dass man die *actio in distans* jemals aufgegeben hätte, ja die anziehende Kraft schliesst die Idee der *actio in distans* geradezu in sich ein, denn die einzige Erscheinung, die mich mit Nothwendigkeit und unmittelbar zur Annahme einer anziehenden Kraft führt, ist die Annäherung zweier Massen an einander ohne äusseren Anstoss und ohne Mitwirkung anderer Moleküle. Da die Massen sich einander nähern sollen, so können sie nicht von vorne herein in Berührung sein, und weil die Mitwirkung aller anderweitigen Massenelemente ausgeschlossen sein soll, so muss die annähernde Kraft auch durch das Vacuum zwischen beiden Massen hindurch wirken. Wir werden aber auch, wenn ich nicht irre, finden, dass das Gravitationsgesetz, ganz so wie es bisher formulirt war, sich in keinerlei Widerspruch mit dem Satze von der Erhaltung der Kraft befindet. Es sei mir erlaubt von Faraday's eigenem Beispiele auszugehen. Es wird die Masse A von der Masse B durch eine äussere Kraft entfernt; indem dies geschieht, nimmt die Anziehung ab, und zwar verhalten sich die anziehenden Kräfte umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Wo bleibt die Kraft, die hier zerstört wird? Die Antwort lautet: Wenn man die Masse A sich selbst über-

lässt, so bewegt sie sich gegen *B* zurück, und wenn sie an ihrem ursprünglichen Orte wieder angekommen ist, so wird sie wieder gerade so stark von *B* angezogen wie früher, und ausserdem hat sie eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, deren halbes Quadrat multiplicirt mit der Masse *A* genau der Arbeit gleich ist, welche vorher aufgewendet wurde um *A* von *B* zu entfernen. Durch die von aussen bewirkte Veränderung, behufs welcher Arbeit aufgewendet wurde, ist also in dem Systeme keine Kraft zerstört worden, sondern gerade so viel hinzugebracht, als behufs der Veränderung verbraucht wurde. Gehen wir näher ein in die Natur der Dinge, mit welchen wir es zu thun haben. Was ist unser Mass für die Anziehungskraft? Unser Mass ist der Zuwachs an Geschwindigkeit, welchen ein Körper in der Zeiteinheit durch eben jene Kraft erfährt. Der Körper häuft vermöge der Trägheit die Impulse, welche ihm die Schwere gibt, in sich an, dadurch steigert sich in gleichem Masse seine Geschwindigkeit und das, was er in der Zeiteinheit aufgespeichert hat, dient als Mass für die Grösse der Anziehungskraft; es ist dies das einzig wahre und unmittelbare Mass, welches dafür existirt, denn wie wir den abstracten Begriff der Kraft aus der concreten Erscheinung der Bewegung abgeleitet haben, so müssen wir aus dieser auch das Mass für die Kraft herleiten.

Diese Geschwindigkeitszuwachse nun sind es, welche sich *caeteris paribus* umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, und dies steht in keinerlei Widerspruch, sondern im vollsten Einklange mit dem Satze von der Erhaltung der Kraft. Der Satz von der Erhaltung der Kraft sagt aus, dass in jedem System, das sich selbst überlassen bleibt, die Summe der Spannkräfte addirt zur Summe der lebendigen Kräfte zu allen Zeiten dieselbe Grösse gibt. Mit anderen Worten, dass in jedem solchen Systeme die Grösse, welche man erhält, wenn man die sich bewegenden Massen mit den halben Quadraten ihrer Geschwindigkeiten multiplicirt, ein Maximum hat, das ein- für allemal gegeben ist, das nicht überschritten werden kann, an dem aber auch nichts verloren gehen kann, weil Bewegung nie so zerstört wird, dass sie nicht wieder regenerirt werden könnte, weil Bewegung nur verschwindet in Folge einer Ortsveränderung der Massen, die ihrerzeit wieder als Bewegungsursache auftritt und dann, indem die Massen in ihre ursprüngliche Lage zurückgehen, dieselbe Summe von Bewegung reproducirt, welche während ihres

Eintretens consumirt worden ist. Es ist dabei natürlich vorausgesetzt, dass als Mass für die Bewegungen stets die Producte gelten, welche man erhält, wenn man die einzelnen sich bewegenden Massen mit den halben Quadraten ihrer Geschwindigkeiten multiplicirt. Nehmen wir das einfachste System, nehmen wir das oscillirende Pendel. Jenes Maximum ist die lebendige Kraft, welche ich erhalte, wenn ich seine Masse mit dem halben Quadrate der Geschwindigkeit multiplicire, mit welcher es durch seine Gleichgewichtslage hindurchgeht, in jeder andern hat es eine geringere und an den Wendepunkten wird sie und mit ihr die lebendige Kraft Null; aber hier ist die ganze Kraft als Bewegungsursache aufgespeichert und wird wieder die ursprüngliche Bewegung erzeugt haben, wenn das Pendel wieder in der Gleichgewichtslage anlangt, in welcher ausser der nach dem Trägheitsgesetze angehäuften Bewegung keine andere Bewegungsursache mehr auf dasselbe einwirkt. Wenn das Pendel sich aus seiner Gleichgewichtslage entfernt, dabei an Geschwindigkeit verliert, zugleich aber ruhende Bewegungsursache erzeugt wird, so sagen wir, es werde lebendige Kraft in Spannkraft umgesetzt; nähert es sich wieder seiner Gleichgewichtslage und geht dabei aus der Bewegungsursache die Bewegung selbst hervor, so sagen wir, es werde die Spannkraft zu lebendiger Kraft regenerirt. — Den analogen Gang der Dinge sehen wir überall und immer in der Natur von den Bewegungen der Himmelskörper bis zur Flamme, die in unserem Kamine lodert und in der die Atome aus den merkwürdigen und für uns noch immer so räthselhaften Spannungszuständen befreit werden, in welche sie durch jahrelange Arbeit der Sonnenstrahlen hineingeschraubt worden sind. Doch kehren wir zurück zu den Beispielen Faraday's. Betrachten wir zunächst die Masse A, welche von der Masse B entfernt wird. Denken wir, B sei die Erde, A ein Stein, der von ihr aus in die Höhe geschleudert wird. Denken wir uns die Erde als ruhend und sehen wir von dem Widerstande der Atmosphäre und von dem Einflusse der Himmelskörper ab. Der Stein wird, wenn seine Geschwindigkeit Null geworden ist, wieder zurückfallen, und wenn er wieder auf der Erde angelangt ist, so wird er eine Endgeschwindigkeit erlangt haben, deren halbes Quadrat mit seiner Masse multiplicirt, eine Kraftgrösse gibt, welche eben hinreichen würde, um in aufsteigender Richtung wirkend ihn bis zu der Höhe emporzuschnellen, von welcher er herabgefallen ist. Es ist

dies eine bekannte Thatsache und in der Regel das erste Beispiel, mit dem man das Gesetz von der Erhaltung der Kraft erläutert. Denke ich mir nun den Stein immer weiter und weiter in die Höhe geschleudert und immer weiter und weiter von der Erde entfernt, so wird dadurch nichts geändert, als dass er in den entlegeneren Theilen seiner Bahn seine Geschwindigkeit langsamer verbraucht und langsamer wieder erlangt, als in den näheren, das Endresultat ist immer dasselbe, es dauert nur längere Zeit ehe es eintritt. Betrachten wir den Stein in dem Momente, indem seine Geschwindigkeit Null wird und indem er sich also in der grössten Entfernung von der Erde befindet. Hat in diesem Momente die bewegende Kraft, das heisst die Ursache für Bewegung, in dem von ihm und der Erde gebildeten Systeme abgenommen? Keineswegs. Es ist wahr, dass der Stein jetzt durch eine von aussen her einwirkende Kraft leichter von der Erde entfernt werden kann und dass er anfangs mit weniger Beschleunigung fällt als es der Fall sein würde, wenn er von einem der Erde näheren Punkte ausginge, aber nichts desto weniger ist in ihm ein Schatz von Bewegungsursache, von Kraft, angehäuft, vermöge dessen er schliesslich eine um so grössere Endgeschwindigkeit erlangt, je weiter er von der Erde entfernt war.

Die Namen: „Lebendige Kraft“, „Spannkraft“ und „beschleunigende Kraft“ sind nach den Regeln der gewöhnlichen naturwissenschaftlichen Nomenclatur geeignet uns glauben zu machen, dies seien drei verschiedene Arten eines und desselben Dinges, aber wir dürfen uns dieser Täuschung nicht hingeben, wir müssen stets vor Augen haben, dass alle drei gänzlich verschiedene Dinge sind. Lebendige Kraft nennen wir die Summe der vorhandenen Bewegung selbst. Wir bezeichnen sie als Kraft, als Bewegungsursache, weil sie nicht nur nach dem Gesetze der Trägheit in den Körpern fortwirkt, sondern weil sie auch auf andere Körper übertragen wird, weil man ruhende Körper durch bewegte in Bewegung setzen kann.

Spannkraft nennen wir die noch disponible Bewegungsursache, die nicht selbst Bewegung ist, ganz abgesehen von der Zeit, in der sie Bewegung erzeugt oder erzeugen kann. Beschleunigende Kraft nennen wir den Zuwachs an Geschwindigkeit, den eine Masse in einem bestimmten unendlich kleinen Zeittheilchen erhält oder erhalten könnte, dividirt durch die Länge eben jenes unendlich kleinen Zeittheilchens. Die beschleunigende Kraft in einem

Systeme ist also in jedem Momente abhängig, einerseits von den Massen, welche bewegt werden oder bewegt werden sollten und den Geschwindigkeiten, welche sie etwa bereits erlangt haben, andererseits von der Geschwindigkeit mit der Spannkraft in lebendige Kraft umgesetzt wird oder umgesetzt werden könnte. Soll die beschleunigende Kraft für jedes einzelne Molekül constant sein, so ist es nöthig, dass die Geschwindigkeit mit der durch dasselbe Spannkraft in lebendige Kraft oder umgekehrt lebendige Kraft in Spannkraft umgesetzt wird, dividirt durch das Product aus seiner Masse und Geschwindigkeit einen constanten Quotienten gebe.

Wenn man dies stets vor Augen hat, muss man sich klar darüber sein, dass die beschleunigende Kraft ab- und zunehmen kann, ohne dass dadurch der Satz, die Summe der Spannkräfte addirt zur Summe der lebendigen Kräfte gebe immer ein und dieselbe Grösse, irgend wie berührt wird.

Wir haben in dem bisherigen gesehen, dass durch Entfernung zweier Moleküle von einander nichts von der Kraft vernichtet wird, deren Unzerstörbarkeit der Satz von der Erhaltung der Kraft ausspricht. Denken wir uns einen Theil der gegen einander gravitirenden Massen vernichtet, so würde dadurch allerdings nicht nur beschleunigende Kraft, sondern auch je nach Umständen ein Theil der Spannkraft oder der lebendigen Kraft oder ein Theil von beiden vernichtet werden; aber dies kann uns in unseren bisherigen Anschauungen nur bestärken. Das Gesetz von der Unzerstörbarkeit der Materie ist so allgemein und so vollgiltig bewiesen, wie das von der Erhaltung der Kraft. Dass bei Verletzung des einen auch das andere keine Geltung mehr hat, zeigt uns nur, dass sie beide mit einander in innigem Zusammenhange stehen und zeigt uns, dass wir recht thun, die Ursache der Gravitationsbewegungen in die Massen zu verlegen und nicht in den Raum zwischen den Massen.

Wir haben also nach allem bisherigen, so weit ich nach meinem eigenen Bewusstsein, nach meinem eigenen Unterscheidungsvermögen für wahr und falsch, für gleich und ungleich urtheilen kann, die bekannten Thatsachen mit unseren Denkgesetzen in vollsten Einklang gebracht, wenn wir die Kräfte als gedachte Ursachen der Erscheinungen in die Massen selbst verlegen, den Raum zwischen diesen aber von ihren Wirkungen durchdringen lassen. Wollten wir die Kräfte selbst in den Raum als solchen verlegen, so müsste es

auch denkbar sein, dass wir Materie vernichteten ohne die Kräftesumme zu verändern, und dies ist wenigstens für mich nicht denkbar.

Es bleibt aber noch ein Punkt zu erörtern übrig, der, wie ich glaube, wesentlich ist für die von Faraday angeregten Zweifel. Wir sagen: die Anziehung nimmt ab mit wachsender Entfernung, und zwar verhalten sich die anziehenden Kräfte umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. In Faraday's Gedankengang ist dies so aufgefasst, als ob wir annähmen, es verändere sich hierbei wirklich die in den Massen ruhende Bewegungsursache. Ich weiss nicht, ob diese Ansicht die herrschende ist. Es ist schwer hierüber ins Klare zu kommen, denn ein Physiker kann ein Menschenalter hindurch Abhandlungen schreiben, ohne jemals seine Überzeugung rücksichtlich dieses Punktes auszusprechen. Daran aber glaube ich nicht zweifeln zu dürfen, dass Faraday Recht hat, diese Ansicht zu bekämpfen und mit Newton eine constant wirkende Ursache der Gravitation anzunehmen. Ich glaube auch zeigen zu können, dass diese Annahme Faraday's weder mit den Thatsachen selbst, noch mit der gangbaren Art, wie wir uns über dieselben verständigen, in Widerspruch steht.

Wir sagen, die anziehenden Kräfte wechseln umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen. Wir sagen aber auch, die Intensität des Lichtes wechselt umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen und sind doch weit entfernt, damit etwas über die Intensität der Lichtquelle aussagen zu wollen; wir sprechen lediglich von den Wirkungen, welche auf bestrahlte Oberflächen ausgeübt werden und wissen sehr wohl, dass die Intensität der Lichtquelle nicht im geringsten dadurch geändert wird, ob die bestrahlten Gegenstände ihr nah sind oder fern. Als man noch die Strahlen des Lichtes nicht blos für mathematische Linien, sondern für die Bahnen der Lichttheilchen hielt, sagte man: Die Lichtintensität nimmt ab umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen, weil die Oberflächen, auf welche eine gleiche Anzahl von Strahlen fällt, direct mit den Quadraten der Entfernungen wachsen. Jetzt, wo wir die Wirkungen des Lichtes von Wellenbewegungen herleiten, wissen wir, dass die Intensität umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen abnehmen muss, weil dieselbe Summe lebendiger Kraft bei der Fortpflanzung übertragen wird auf immer neue und neue Massen, welche direct mit den Quadraten der Entfernungen zunehmen. Der Wechsel der Intensität

umgekehrt mit den Quadraten der Entfernung erscheint uns jetzt als eine einfache Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft.

Wir denken uns nun die Anziehungskraft, welche einer Masse innewohnt, ihre Wirkungen geradlinig und nach allen Seiten hin verbreiten, wie ein Licht seine Strahlen nach allen Seiten hin aussendet, denn wie wir die Lichtwirkung wahrnehmen, wenn unsere Netzhaut oder ein von uns gesehener Körper in das Bereich der Strahlen gelangt, so nehmen wir die Wirkung der anziehenden Kräfte wahr, wenn ein Körper von irgend einer Seite her in ihr Bereich kommt. Wenn wir also sagen: Die Wirkungen der Anziehung nehmen ab umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen, so können wir dies keineswegs auch auf die Quelle der Attraction beziehen, wir müssen vielmehr annehmen, dass dieselbe constant sei und dass auch die Summe der Wirkungen mit der Entfernung weder ab- noch zunehme. Ein Beispiel wird dies leicht anschaulich machen. Man denke sich ein Molekül und den Raum um dasselbe erfüllt mit Molekülen, die in gleichen Abständen von einander darin zerstreut sind.

Der Einfachheit wegen mögen die letzteren alle von gleicher Masse sein und die Masse eines jeden verschwindend klein im Vergleich mit der Masse des ersten Moleküls, welches ich das Central-Molekül nennen will. Dann wird das Centralmolekül alle anderen anziehen, und zwar werden sich die Wirkungen, welche auf die einzelnen ausgeübt werden, umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Entfernungen. Denke ich mir aber um das Centralmolekül als Mittelpunkt eine Kugelschale von bestimmter Dicke, so wird die Summe der vom Centralmolekül ausgehenden Wirkungen innerhalb dieser Kugelschale immer dieselbe sein, gleichviel wie gross die Entfernung ist, in welcher sie sich von dem Centralmolekül befindet; denn die Wirkung auf die einzelnen Moleküle nimmt umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen ab, aber die Anzahl der Moleküle, welche in eine solche Kugelschale fallen, nimmt direct mit dem Quadrat der Entfernung zu.

Wenn wir also sagen, die anziehenden Kräfte verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen, so wollen wir damit nichts anderes sagen, als: die Anziehungskraft, welche jeder Masse innewohnt, ist constant und breitet ihre Wirkungen in unverminderter Gesammtheit nach allen Seiten hin aus; dieselben äussern sich nur an den einzelnen Stellen um so schwächer, je grösser der Raum ist

über den sie sich ausgebreitet haben. Wir sind hierdurch noch nicht gezwungen, eine Fortpflanzung im gewöhnlichen Sinne des Wortes, das heisst einen zeitlich ausgedehnten Vorgang anzunehmen, denn das Gesetz von dem Wechsel der Dichtigkeiten (oder Intensitäten) umgekehrt mit den Quadraten der Entfernungen ist ganz unabhängig von dieser Annahme; es gilt für ein System von unendlich vielen geraden Linien, die von einem Punkte ausgehen, so gut wie für die Wellenbewegung, die sich von einem Punkte aus nach allen Seiten hin fortpflanzt.